

## 분산전원을 고려한 배전계통의 개선된 보호협조 방안 연구

°최동만\* 최준호\* 문승일† 김재철†† 문채주\*\* 김일수\*\*  
 전남대학교\* 목포대학교\*\*

### A Study on the Advanced Protective Coordination Schemes of Distribution System Considering Distributed Generations

Choi Dong Man\*, Choi Joon Ho\*, Moon Seung Il†, Kim Jae Chul†† Moon Chae Joo\*\*, Kim Il Soo\*\*  
 Chonnam National Univ.\* Seoul National Univ.† Soongsil Univ.†† Mokpo National Univ.\*\*

#### ABSTRACT

Recently, There has been growing interest in Distributed Generations with high-energy efficiency due to the increasing energy consumption and environmental pollution problems. but an insertion of Distributed Generations to existng power distribution system can cause several problems such as voltage variations, harmonics, protective coordination, increasing fault current etc, because of reverse power. This paper was applied to Sukumar M[1] proposal schemes and identily the faulted section performing short-circuit analysis by MATLAB program to distribution systems interconnected a large number of distributed generations

#### 1. 서 론

최근의 경제 발전으로 에너지 소비 증가 그리고 환경 오염등의 문제로 부지 확보나 환경문제등으로 인해 원자력발전, 화력 같은 대형 발전 설비의 확충이 어려워지고 있다. 또한 국내의 경우 에너지를 수입에 의존하고 있어 향후 에너지 수급도 어려워질 전망이다. 따라서 부지 확보 및 환경오염의 위험이 적은 분산전원에 대한 관심이 한층 더 고조 되고 있다. 미래에는 기존의 배전계통에 다수의 분산전원이 연계 될 것으로 예상된다. 그러나 이러한 분산전원을 배전계통과의 연계시 역조류로 인해 전압변동, 고조파, 보호협조, 고장전류 증가 등의 문제를 일으키므로 이에 대한 적절한 보호협조 연구가 필요하다. 현 우리나라 22.9[kV] 배전계통은 송전 시스템과는 달리 단방향 전원에 의해 방사상(Radial)으로 운전되고 있으며 보호 시스템 또한 단방향 조류에 기초하여 구성되어 있다. 그러나 배전계통에 분산전원 연계시 기존의 단방향 전원에서 양방향 전원으로 전환됨에 따라 고장전류의 증가에 따른 보호장치 설치치 정정 및 보호협조의 재구성 등과 같은 보호 협조에 있어서 발생할 수 있는 문제점과 현 배전계통 보호 시스템을 구성하고 있는 리클로저와 구분 개폐기와의 협조에 있어서 발생할 수 있는 문제점에 대한 충분한 연구가 필요하다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 Sukumar M[1]이 제안한 방안을 적용해 현 우리나라 22.9[kV] 배전계통에 다수의 분산전원 연계를 가정하여 사고 감지 및 사고 지점을 찾고 MATLAB 프로그램으로 단락사고 해석을 실행하여 고장 지점을 확인하였다<sup>[1]</sup>.

#### 2 본 론

##### 2.1 배전계통 보호기기

###### 2.1.1 리클로저

리클로저는 배전계통 보호기기 중 전위와 후위 보호장치 사이의 보호협조를 하는데 중추적 역할을 담당하며 순간 사고 시 선로를 순시로 차단한 후 자동으로 재폐로 함으로써 전력공급의 신뢰도를 향상시키며 영구사고가 일어났을 경우 설정된 동작에 의해서 선로를 차단함으로써 고장구간을 배전계통으로부터 분리시키는 기능을 갖는다. 동작 특성을 위해서 순시동작곡선과 지연동작곡선을 가지며 총 4회까지 정정이 가능하다. 그림 1의 2F1D(2번 순시동작과 1번 지연동작)는 가장 많이 적용하는 리클로저의 동작 특성으로 타 보호장치와 일반적으로 보호협조가 잘 이루어진다.<sup>[4]</sup>

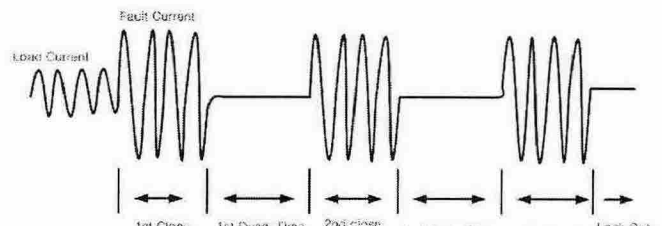


그림 1. 리클로저 동작

Fig. 1 Fault current waveform by reclosing operation

###### 2.1.2 섹셔널라이저

섹셔널라이저는 후비 보호장치인 리클로저의 동작횟수를 카운트하여 동작하며 리클로저 트립 동작에 의해 선로가 무전압 상태가 되었을 때 고장구간을 분리하므로 일반적으로 후비 보호장치와 직렬로 연결 하여 사용한다. 즉 섹셔널라이저는 자동으로 제어되는 배전선로의

개폐기이며 고장전류를 차단할 수 있는 능력은 없으므로 T-C특성이 불필요하고 다른 보호장치와 협조를 이루기가 용이하다. 그 동작에 있어서는 최소동작 전류 이상의 전류가 흐르면 리클로저의 동작을 카운트 할 준비를 하며 후비 보호장치인 리클로저가 동작을 시작하면 그 동작 횟수를 카운트하여 동작하게 된다. 예를 들어 섹셔널라이저의 동작 셋팅치를 2회를 가정하였을 경우 위의 그림 1의 리클로저 동작에 따라 2nd Dead time에서 섹셔널라이저가 동작하게 된다.<sup>[4]</sup>

## 2.2 신재생에너지 시스템의 배전계통 연계시 사고 지점 확인 방법 제시

신재생에너지 시스템의 배전계통 연계 운전 중 고장시 고장지점을 확인하는 것은 고장 복구와 제거 차원에서 매우 중요하다. 본 장에서는 각 발전기의 고장전류 기여를 이용하여 고장 지점을 확인하고자 한다.<sup>[1]</sup>

### 2.2.1 Off line 조류계산과 단락사고계산

이 방법은 다른 상을 포함한 모든 고장에 대한 조류계산과 단락사고 해석이 필요하다. 이 해석은 고장 전류뿐만 아니라 주전원과 각 신재생에너지 시스템으로부터 고장전류 기여를 확인 할 수 있다. 조류계산과 단락사고 해석은 신재생에너지, 부하, 시스템 구성의 변동등이 있을 경우에는 갱신 해야 한다. 단락 사고해석은 3상 단락사고를 행하였다.<sup>[1]</sup>

### 2.2.2 고장감지와 고장종류 결정

주전원과 모든 분산전원의 전류페이저는 항상 이용 가능하기에 이로써 고장을 감지하고 고장 종류를 결정하고자 한다. 정상상태 동작 조건에서 이 전류페이저의 합은 시스템의 전체부하와 같으나 고장 시 이 합은 전체부하를 초과하게 될것이다. 또한 고장 전류는 모든 전원에서 전류기여의 합과 같다. 일단 시스템에서 고장을 감지하면, 각 상의 전체 고장 전류는 다음 간단한 방정식을 사용하여 결정 할 수 있다.<sup>[1]</sup>

$$[I_{fabc}] = \sum_{i=1}^n [I_{fabc}]_{sourcei}$$

### 2.2.3 on line에서 고장 지점 확인

Off line 조류계산과 단락사고 해석에 의해 각 전원의 고장 전류를 이미 알고 있으므로 이를 이용하여 고장 지점을 알 수 있다. 고장 지점이 모선 i-j 사이에 있다면 전원으로부터 고장 전류 기여는 전원에 의해 계속적으로 증가 할 수도 있고, 감소 할 수도 있다. 이는 각 전원에서 고장 기여는 각 전원에 항상 있다는 의미이다. 이 방법은 다수의 분산전원이 배전계통에 연결 되었을 경우 매우 효율적이다.<sup>[1]</sup>

### 2.2.4 에러 원인

Sukumar M<sup>[1]</sup>은 에러는 고장 저항일 수도 있다고 하였다. 왜냐하면 단락고장 해석에서 고장저항을 이상적인 저항인 "0"으로 계산 했기 때문에 저항 고장일 경우에는 고장 위치가 인접해 있는 구간으로 확인 될 수도 있다. 그러나 에러의 원인인 고장저항은 대부분 무시 할 수 있다. Burke<sup>[3]</sup>의 4년간의 고장 연구 보고서에 의하면 기록된 고장에서 관측된 고장 저항은 무시할수 있을 만큼 실제 값과 계산된 값이 근사하다는 결론을 내렸다.

## 2.3 사례연구

### 2.3.1 신재생에너지 시스템이 연계된 배전계통 모델

배전계통 모델은 먼저 상위계통인 송전계통을 증가화한 무한 모선과 배전용 변압기, 모선, 선로, 부하 등으로 구성하였고 그림2는 배전계통 모델의 단선도를 나타내었으며 표1는 시뮬레이션을 위해 사용된 배전계통 모델의 입력 파라미터를 나타낸다.

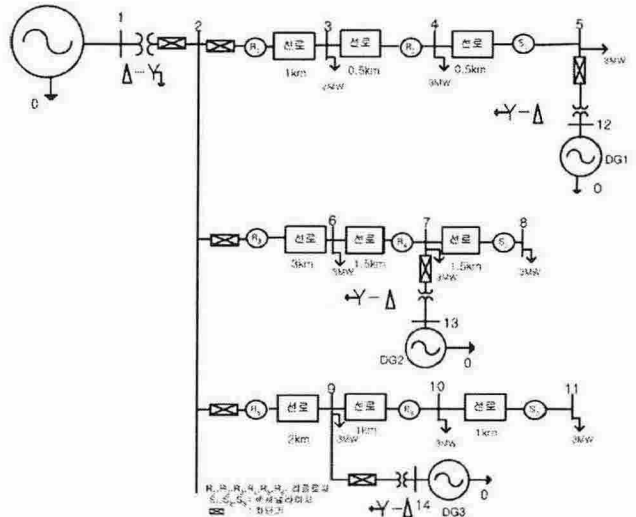


그림 2 분산전원이 연계된 배전계통 단선도  
Fig.2 One-line diagram of the power distribution system interconnected DG.

표 1 배전계통 모델 입력 파라미터

Table1. Input parameters of the power distribution system model

전원측	영상분 임피던스( $Z_{so}$ )[%]	0.257+j1.336	
	정상,역상분 임피던스 ( $Z_{s1},Z_{s2}$ )[%]	0.072+j0.757	
	공급전압[kV]	154	
배전용변전소 주변압기	정격용량[MVA]	45/60	
	임피던스( $Z_b$ )[%]	j11	
배전선로 (ACSR 1600[mm]) <sup>2</sup>	영상분 임피던스( $Z_{lo}$ )[%/km]	11.99+j29.26	
	정상, 역상분 임피던스 ( $Z_{l1},Z_{l2}$ )[%/km]	3.47+j7.46	
분산전원 시스템	발전기종류	동기발전기	
	정격용량[MVA]	2	
	정격전압[V]	480	
	$X_d''$ [p.u.]	0.2	
	변압기		480(V)
			480V/22.9kV
		2MVA	
		j2	

### 2.3.2 고장 지점 확인

Sukumar M<sup>[1]</sup>이 제안한 방안을 현 우리나라 계통에 평가하기 위하여 그림 2의 등가 모델에 MATLAB 프로 그램을 사용하여 각 전원과 모선에서의 1선지락과 3상 단락고장 해석 및 조류계산을 실행하였다. 표2는 조류계산에 의해 계산된 전원 전류 공급 값이다. 표3은 1선 지락 고장계산과 3상 고장계산으로 얻어진 각 모선의 고장 전

류값이다. 표4는 각 모선과 모선 중앙에서 고장 확인 테이블이며, 팔호안의 전류값은 모선과 모선사이의 전류값으로 이 지점에서 고장이 발생했을 것을 보여주기 위한 것이다. 표 아래 고장 지점 부분은 모선과 모선사이에서 고장 지점이 확인 되었음을 나타내고 있다. 표2와 표3의 각 전원의 고장 전류값과 전원 전류 공급값을 비교하면 고장 전류값이 총 부하 전류값보다 크다는 것을 알 수 있다. 위 2.3.2절에 설명된 것처럼 고장 전류값이 총 부하 전류값보다 크므로 고장으로 판단하였다. 고장이 감지 되었으므로 다음 단계로 각 전원의 고장전류 기여도 테이블을 가지고 고장 지점을 확인하기 위해 모선4~5 중앙에서 고장 발생을 가정하여 모의하였다. 모의 결과인 표4에서 모선4~5 지점에서 고장을 확인 할 수 있었다.

표 2 조류계산 결과 전원 전류공급값  
Table 2 Source Current Supply from Load Flow Result

(기준 전류  $I_b$  : 2.521[kA])

주전원	0.221
신재생에너지 시스템1	0.0278
신재생에너지 시스템2	0.0233
신재생에너지 시스템3	0.0269
전체부하 고장전류	0.299

표 3 각 모선의 고장 전류  
Table 3 Fault Current of each Bus

(기준 전류  $I_b$  : 2.521[kA])

전원	모선 번호	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		조류계산	0.221[p.u.]							
주전원	1선 지락	2.849	2.499	2.269	1.776	1.552	1.105	2.272	1.639	1.279
	3상 단락	3.016	2.682	2.413	2.009	1.601	1.318	2.416	1.998	1.702
	조류계산	0.0278[p.u.]								
신재생에너지 시스템1	1선 지락	0.085	0.084	0.085	0.040	0.035	0.025	0.051	0.037	0.028
	3상 단락	0.090	0.091	0.091	0.045	0.036	0.029	0.055	0.045	0.039
	조류계산	0.0233[p.u.]								
신재생에너지 시스템2	1선 지락	0.067	0.056	0.050	0.079	0.089	0.063	0.050	0.036	0.029
	고장 해석	0.067	0.059	0.054	0.09	0.091	0.075	0.054	0.044	0.038
	조류계산	0.0269[p.u.]								
신재생에너지 시스템3	1선 지락	0.063	0.056	0.051	0.040	0.035	0.025	0.086	0.062	0.048
	고장 해석	0.068	0.06	0.054	0.045	0.036	0.029	0.091	0.075	0.064
	조류계산	0.299[p.u.]								
전체 고장전류	1선 지락	3.061	2.694	2.456	1.934	1.707	1.215	2.458	1.773	1.384
	고장 해석	3.241	2.892	2.611	2.188	1.761	1.45	2.613	2.162	1.841

표 4 각 모선 중앙에서 고장 확인  
Table 4 Fault Current to each Bus Center

(기준 전류  $I_b$  : 2.521[kA])

	3~4 모선	4~5 모선	6~7 모선	7~8 모선	9~10 모선	10~11 모선
주전원	(2.8491p.u.) 3~4	(2.5476p.u.) 4~5	(1.8052p.u.) 6~7,10~11	(1.4597p.u.) 7~8	(2.2068p.u.) 9~10	(1.8499p.u.) 6~7,10~11
신재생에너지 시스템1	(0.0909p.u.) 3~4	(0.0907p.u.) 4~5	(0.0407p.u.) 6~7,10~11	(0.0329p.u.) 7~8	(0.0498p.u.) 9~10	(0.04175p.u.) 6~7,10~11
신재생에너지 시스템2	(0.0632p.u.) 3~4	(0.0565p.u.) 4~5	(0.0904p.u.) 6~7,7~8	(0.0828p.u.) 7~8	(0.0489p.u.) 9~10	(0.04105p.u.) 10~11
신재생에너지 시스템3	(0.0642p.u.) 3~4,10~11	(0.0574p.u.) 4~5	(0.0407p.u.) 6~7	(0.0329p.u.) 7~8	(0.0830p.u.) 9~10	(0.0696p.u.) 10~11
고장 지점	3~4	4~5	6~7	7~8	9~10	10~11

### 3. 결 론

신속한 고장지점 확인은 고장전류가 고장선로뿐만 아니라 인접 선로에 영향을 끼치는 것을 방지 할 수 있고 인접선로 고장에 대해 분산전원이 불필요하게 계통으로부터 분리되는 것을 예방 할 수 있다. 본 논문에서는 Sukumar M[1] 제안한 방안인 각 전원의 전류기여를 이용하여 고장 지점을 확인하기 위해 다수의 신재생에너지 시스템을 현 우리나라 배전계통에 연계하여 MATLAB 프로그램으로 조류계산과 3상 단락고장계산을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과인 각 전원전류 공급값과 3상 단락 고장 전류값을 이용 고장 지점 확인에 사용하여 각 모선과 모선 중앙에서 고장을 모의 하였다. 모의 결과표인 표4 테이블을 작성하여 모든 모선에서의 고장 지점을 확인 하였다. 향후에는 배전선로 보호기기인 리클로저와 섹셔널라이저의 보호협조 방안을 제시하겠다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원 사업에 의해 작성되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Sukumar M. Brahma, A. Girgis, "Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution System With High Penetration of Distributed Generation", IEEE Trans. ,vol.19,No.1,January2004,
- [2] 최준호,정성교외, "배전계통에 연계된 열병합발전 시스템의 개선된 보호협조 방안에 관한 연구", 대한 전기학회지, Vol 49A, No6, pp 280-288, Jun.2000년.
- [3] J.J.Burke, "Power Distribution Engineering", New York: Marcel Dekker.
- [4] 한국전력공사 배전처, 배전보호기술서, 1995